



3D-TULOSETUT MUOTIT JA INSERTIT

Jonne Salminen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Älykkäät koneet

SALMINEN, JONNE:
3D-tulostetut ruiskuvalumuotit ja insertit

Opinnäytetyö 31 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2017

Opinnäytetyössä tarkastellaan SLA 3D-tulostuksen käyttöä ruiskuvalumuottien valmistuksessa. Lisäksi kokeillaan venymäliuskainserttejä FDM-tekniikalla tulostetun testikapaleen sisällä. Työssä kuvaillaan myös venymäliuskan asennusta ja mittausta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää 3D-tulostettujen ruiskuvalumuottien ja inserttien käytettävyyttä osana ruiskuvalun suunnitteluprosessin kehitystä. Käytännön tasolla työtä varten kokeiltiin inserttejä 3D-tulostettuihin kappaleisiin liitettynä.

3D-tulostuksesta voi olla hyötyä ruiskuvalumuottisuunnittelussa prototyypimuottina. Massatuotantoa sillä ei kuitenkaan saada aikaan. Muovimuotit kuluvat paljon enemmän kuin metallimuotit ruiskuvaluprosessin kovan paineen ja lämpötilan aikana. Tulevaisuudessa aihetta voi tutkia lisää. Kenties 3D-tulostusmateriaaleja saadaan kehitettyä niin hyväksi, että jatkossa muotin heikkous ja kuluminen eivät ole enää ongelma.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Intelligent Machines

SALMINEN, JONNE:
3D Printed Injection Molds And Inserts

Bachelor's thesis 31 pages, appendices 0 pages
May 2017

This thesis is about utilising SLA 3D printing in injection mold manufacturing. In this study, FDM 3D printed strain gauge inserts were tested inside a test object. The installation and measurement of strain gauges is also described.

The purpose of this thesis was to research the usability of 3D printed injection molds and inserts as a part of the development of the injection mold design process. In practical level there were experiments with inserts attached into 3D printed objects.

3D-printing prototype molds can be a useful part of the injection mold design process. However, the method cannot be applied in mass production very well. Plastic molds wear significantly more than metal molds during the high pressure and temperature of the injection molding process. It is suggested here that additional research should be conducted to develop 3D materials further so that the tear and wear will not be an issue any more.

Key words: 3D printing, injection molds, inserts

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT	7
2.1	Insertit	7
2.1.1	Kierreinseritit	7
2.1.2	Venymäliuskat.....	8
2.2	Ruiskuvalumuotit.....	10
2.2.1	Muottimateriaalien vertailu	13
2.2.2	Muovimuottien teknisiä asetuksia.....	14
2.2.3	Muovimuottien hyödyt.....	14
2.2.4	Muovimuottimateriaalit.....	16
2.2.5	Ruiskuvalumateriaalit ABS-muotille	17
3	TOTEUTUS	18
4	TULOKSET	28
5	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET	30

LYHENTEET JA TERMIT

ABS	akryylnitriilibutadieenistyreeni
amorfinen	rakenne, jossa ei ole kiteisyyttä
insertti	muottipesäistukas
jaksoaika	koostuu muotin sulusta, ruiskutuksesta, jälkipaineesta, plastisoinnista, jäähtymisestä, muotin avauksesta sekä taukoajasta
PE	polyeteeni
PLA	polylaktidi
polymeeri	aine, jossa makromolekyyli on muodostunut monomeerien liittyessä yhteen
PP	polypropeeni
PS	polystyreeni
SLA	stereolitografia
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
TPE	termoplastiset elastomeerit

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui Tampereen ammattikorkeakoulun tarjoama '3D-tulostetut muotit ja insertit', koska 3D-tulostamisen kaikkia mahdollisuuksia ei tällä saralla ole vielä selvitetty. Tekijä on myös aiemmin ollut kiinnostunut 3D-tulostuksesta opintojensa aikana. Muotteja käytetään jo nyt ruiskuvaluteollisuudessa tuotekehitysvaihetta nopeuttavana osana, mutta tarkoitus on tutkia aihetta tarkemmin. Suoraan 3D-tulostamalla saadaan lisää käyttömahdollisuuksia erilaisille muottiin asennettaville inserteille.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää 3D-tulostettujen ruiskuvalumuottien ja inserttien käytettävyyttä osana ruiskuvalun suunnitteluprosessin kehitystä. Tehtävä suoritettiin tulostamalla ja harjoittelemalla Ultimaker 2 -merkkisellä FDM-, eli kuumapursotus, 3D-tulostimella.

TAMKilla on myös käytettävissä Stratasys Objet350 Connex3 3D-tulostin, jolla muotteja voi valmistaa. Alun perin suunnitelmama oli tulostaa SLA-tekniikalla oikea ruiskuvalu-muotti ja tehdä sillä ruiskuvalukappaleita. Ruiskuvalua varten ei kuitenkaan löytynyt konetta eikä yhteistyötahoa, jolla sellainen olisi ollut. Näin ollen tekijä päätti olla tulostamatta ABS-muottia.

Tavoitteena oli aikaansaada uutta tutkimustietoa, josta on hyötyä koululle jatkossa. Myös opinnäytetyön tekijän henkilökohtaisen taidon ja tieteellisen tutkimuksen taitoja oli tarkoitus kehittää työn kautta.

2 TEOREETTISET LÄHTÖKOHDAT

2.1 Insertit

Insertit ovat ruiskuvalettuun muovituotteeseen ruiskuvalun yhteydessä tai jälkeenpäin liitettäviä lisäosia. Inserttejä voivat olla muovituotteeseen liitettävät komponentit, koristeet sekä elektroniikkakomponentit jotka tuodaan insertteinä muoviseen runkoon. Paljon käytettyjä inserttimateriaaleja ovat metallit, joita käytetään muiden osien liittämässä ja kokoonpanon avustamisessa. Insertit voivat olla käytännössä mitä materiaalia tahansa, jota pystytään liittämään. Muovipohjaisten inserttien liittämisen integrointi ruiskuvaluun on ollut nopeasti kehittyvä tutkimusala. Sisäkierteisiä metallikappaleita kutsutaan kierreinser-teiksi. Insertti voi olla myös mikä tahansa muu kappale, kuten esimerkiksi venymä-liuska. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 171–172.)

2.1.1 Kierreinseritit

Kuvassa 1 on kierreinseritti, joissa on siis sisäkierte. Kuten kuvasta näkyy, sisäkierteen lisäksi myös ulkopuolella on kierteet. Tämä helpottaa asennuksen pysyvyyttä tuotteessa. Inserttejä käytetään yleensä silloin kun halutaan upottaa kierre esimerkiksi ruiskuvalettuun muovikappaleeseen.



KUVA 1. Kierreinseritti (Wikimedia Commons 2000)

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin melko pieniin insertteihin 3D-tulostimen rajallisen tulostusalueen takia. Pienet insertit ovat myös edullisempia ja vaativat pienemmän kappaleen, johon insertti sijoitetaan. Pienempiä kappaleita on nopeampi tehdä 3D-tulostimella kuin isompia kappaleita, joten materiaalin lisäksi myös aikaa säästyy.

Tarkoitus ei siis ollut välttämättä tulostaa itse inserttejä, vaan tulostaa niille kehys, johon ne voitiin sijoittaa. Toki kierremuttereita voi tulostaa ja sitten tutkia niiden lujuuksia, mutta tälle ei taida olla mitään käytännön hyötyä. Siksi tässä työssä keskityttiin enemmän olemassa olevien inserttien sijoittamiseen tulostettuihin raameihin sekä erikoistekniikkoihin, joiden avulla tämä toteutetaan. On mahdollista myös 3D-tulostaa ensin alapuoli sisärakenteisesta kappaleesta ja sijoittaa siihen insertti, jonka jälkeen 3D-tulostetaan kappaleen yläpuoli. Näin saadaan sijoitettua insertti muotin sisälle, jolloin voidaan tutkia esimerkiksi venymäliuskan avulla muotin lämpötilaa.

Toinen tämän tekniikan sovellus on sellainen, jossa ensin 3D-tulostetaan pohja ja reikä mutterille, jonka jälkeen mutteri asetetaan reikään. Lopuksi mutterin ollessa kokonaan reiässä tulostetaan aluslevyn kaltainen kansi, jotta mutteri ei pääse irti. Näin saadaan ruuvi sisään mutterin pysyessä paikoillaan. (CHEP 3D Printing 2014.)

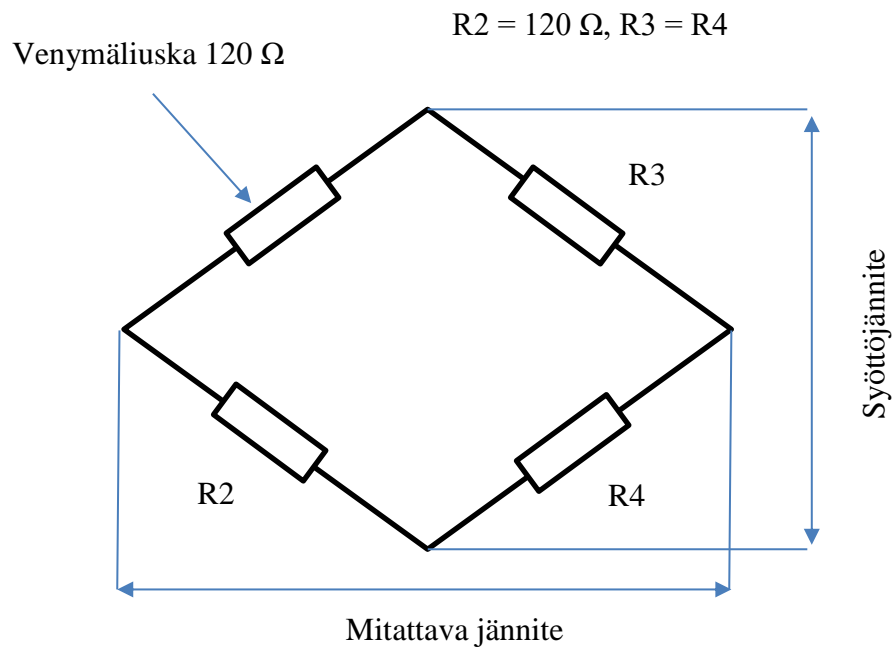
Toinen tekniikka on kierreinsertin asetus lämpökäsittelyn avulla. Siinä insertti työnnetään juottimella kiinni muoviosaan. Muovin sulaessa insertin ympäriltä tarttuvuus muoviin on hyvä. (Gaylord 2015).

2.1.2 Venymäliuskat

Venymäliuska mittaa venymää sen sisäisen resistanssin muutoksen kautta. Asennettaessa liuskassa on kelalla tai kiertelle olevaa kuparilankaa. Useampi kierros voimistaa vastusarvon muutosta suhteessa venymään. Kun liuska venyy, lämpölaajenemisen tai taipuman kautta, niin langan pituus suurenee. Kun langasta tulee pidempi ja ohuempi, sen vastusarvo nousee. Jos venymäliuskaa puristetaan, niin vaikutus on päinvastainen. (Metropolia 2010.)

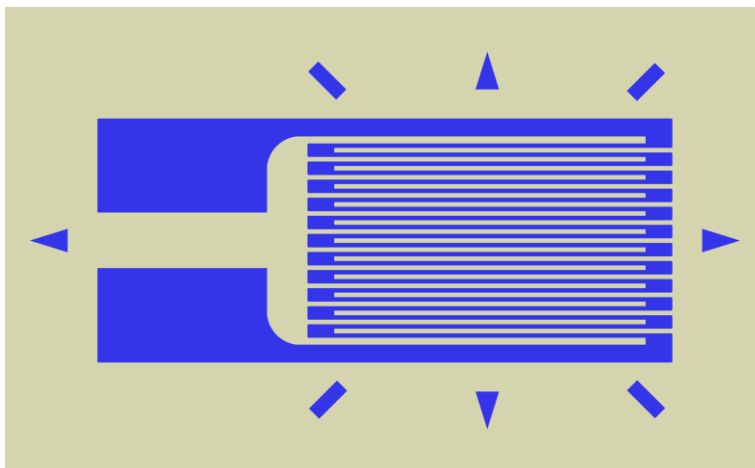
”Neljännessiltakytkennässä yksi neljästä vastuksesta korvataan venymäliuskalla.” Kuvi-
ossa 1 esitettynä kytkentä. Kiinteät vastukset voidaan halutessa korvata venymäliuskoilla.

Jännitteen muutokset ovat millivolttitasoa, joten vahvistimen käyttöä suositellaan muutoksien helpompaan havainnointiin ja häiriöiden suodattamiseen. (Metropolia 2010.)



KUVIO 1. Neljännessiltakytkentä

Venymäliuskoina tässä työssä käytettiin saksalaisen Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH:n eli HBM:n 120 ohmin ja 3 mm:n liuskoja. Mallinimi oli 3/120A LY11. LY tarkoittaa lineaarista, yhden suuntaisen venymän mittaavaa venymäliuskaa. Alla olevassa kuvassa 2 on havainnekuva samantyyppisestä venymäliuskast.



KUVA 2. Venymäliuskan havainnekuva (Wikimedia Commons 2012)

Venymäliuskojen asennuksessa on hyvin tärkeää pitää osat puhtaina käsistä tulevasta rasvasta. Tämän takia niitä käsiteltiin pinseteillä. Oksidikerroksia puhdistettiin puhdistusaineen avulla. Puhdistusaineeksi suositellaan HBM:n omaa RMS-1 -puhdistusainetta, mitä myös käytettiin. RMS-1 on isopropanolin ja asetonin seos. Venymäliuskan kiinnitysluimaksi HBM suosittelee venymäliuskan mukana tulevassa paketissaan käytettävän joko Z 70-, X 600-, EP 250- tai EP 310 -liimaa.

TAMKilla on venymäliuskojen asennukseen käytössä Z 70 -liimaa, joka on viileässä kovettuva yksikomponenttinen aine, joka on tehty syanoakrylaatista, jota käytetään laajalti myös pikaliimoissa. Z 70 kovettuu huoneenlämmössä peukalolla kalvon läpi painamalla. (HBM. a.)

2.2 Ruiskuvalumuotit

Ruiskuvalumuotit valmistetaan yksittäin tiettyä kappaletta varten ja viimeistely tapahtuu useimmiten käsityönä, minkä takia muotit ovat kalliita sarjatyönä tehtyihin laitteisiin verrattuna. Yksinkertaisimmillaan ruiskuvalumuotti koostuu kahdesta muottipöytiin kiinnitetystä osasta: Kiinteästä muottipuolikkaasta ja liikkuvasta puolikkaasta. Ne ovat ruiskuvalumuoteissa aina. Muotti voi olla myös kolmiosainen kolmilevyumuotti. Huonona puolena siinä syntyy runsaammin muovijätettä kuin kaksiosaisessa sen suuremman valukanavan takia. Usein rakenteissa on paljon muitakin elementtejä, kuten ohjaus- ja jäähdytys-elementit sekä insertit ja syöttöportit tai -portit. (Järvelä ym. 2000, 113–115, 293.) Kuvassa 3 on melko yksinkertainen ruiskuvalumuottipari ja sen tuotos.

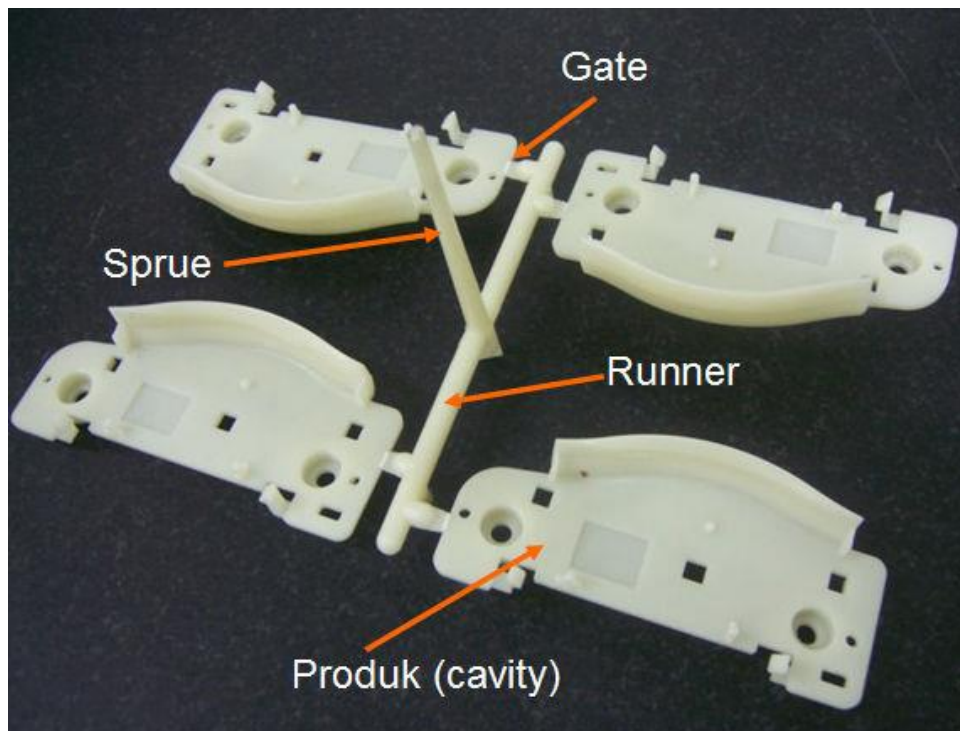


KUVA 3. 3D-tulostettu muotti (CreativeTools.se)

Muotin pitää olla sellainen, että massasula täyttää sen nurkkia myöten. Seinämänpaksuus vaikuttaa jäähtyvyyteen, mikä vaikuttaa massan juoksevuuteen. Paksuudeksi suositellaan yleensä 1...4 mm riippuen tuotteen koosta. Muottia suunniteltaessa pitää ottaa valukappaleen kutistuma huomioon. Kutistumaa tapahtuu kappaleen jähmettyessä ja jäähtyessä. Huomattavasti suurempi ongelma näistä kahdesta on jähmettymisen aikana tapahtuva kutistuma, eli muottikutistuma. Amorfisilla muoveilla on pienempi kutistuma kuin osakiteisillä muoveilla. Amorfisen ABS muovin kutistuma on 0,4...0,7 % kun taas osakiteisen polypropeenin kutistuma on 1,0...2,0 %. Muottipesän tulee kestää ruiskuvaluprosessin korkea paine. Pinnanlaadun tulee olla tarkoituksenmukainen, sillä se vaikuttaa suoraan valmiin kappaleen pinnanlaatuun. Vaikka muotti olisikin hyvänmuotoinen ja oikein suunniteltu, niin ruiskuvaluprosessin hallinnassa keskeisiä tekijöitä ovat myös oikeat parametrit, eli massan ja muotin lämpötila, massan virtaus sekä paine koko prosessin aikana. Kaiken lisäksi oikeat parametrit ovat erilaiset jokaiselle eri aineelle. Muovimassan mukana tulleen lämpömäärän poistamiseksi muotteihin tehdään jäähdytyskanavisto. Lyhyet valmistusjaksot ja suuri lämmönvaihtelu aiheuttavat jopa keskimääräisen muottilämpötilan mittaussvaikeuksia. Jäähdytyskanavien suunnittelu onkin erittäin tärkeä osa ruiskuvalukappaleen laatua ja lyhyempää jäähdytysaikaa ajatellen. (Järvelä ym. 2000, 16-46, 133-138, 141-142, 303.)

Syöttöportit ovat kanavia, joista muovimateriaalin virtaus johdetaan muottiin. Sen tyy-
pillä on merkittävä vaikutus ruiskuvaletun kappaleen ominaisuuksiin, kuten toleranssei-
hin, yhtymäsaumojen lujuuteen, taipumiin ja vääntyilyihin sekä kappaleen täyttymiseen.
Syöttöporttien ja muottien suunnittelussa käytetään apuna simulointiohjelmistojen vir-
tausanalyysijä. (Järvelä ym. 2000, 293 – 294.)

Yksi esimerkki kyseisistä simulointiohjelmissä on Autodeskin Moldflow. Moldflowin an-
siosta voidaan suunnitella alla olevan kuvan 4 mukaisia ruiskuvalukappaleita. Ohjelman
avulla kappaleiden valumassan virtaavuus voidaan simuloida ennakkoon.



KUVA 4. Valukanavat ja syöttöportit (4 kpl) valmiissa tuotteessa (Wikimedia Commons 2011)

Muotin hyvä kaasunpoisto auttaa pitämään täyttöpaineet kohtuullisina, kun muovimassa syrjäyttää muottipesän ilmamäärän. Ilman hyvää kaasunpoistoa voi muodostua ilmatas-
kuja tai purseita. Purseita voi muodostua heikon kaasunpoiston aiheuttaman liiallisen pai-
neen työntäessä muotin auki. Ilmataskussa taas ilma ei pääse karkuun ja lämpenee voi-
makkaasti aiheuttaen palamisjäljen tuotteen pintaan. Kaasunpoistouran syvyydeksi suo-
sitellaan ABS-muovia valettaessa 0,03...0,04 mm (30...40 μm). Matalan osan pituudeksi
suositellaan 1,0...2,0 mm. PP:llä samat arvot ovat 0,01...0,02 ja 0,5...1,0. (Järvelä ym.
2000, 144, 146.)

2.2.1 Muottimateriaalien vertailu

Alumiini- ja muovimuottien vertailussa hinta kääntyy ainakin mainostapauksissa selvästi muovimuottien eduksi. Esimerkiksi muovimuottia väitetään 70 % halvemmaksi kuin perinteisiä muotteja. On kuitenkin otettava huomioon, että alumiinimuottia voi helposti käyttää tuhansien osien valmistukseen. Tuotantomuottien alkaen-hinnat ovat karkeasti 20 000 eurossa, alumiinimuotteja saa alkaen 1 500 eurolla. Muovimuottien hinnaksi arvioidaan 1000 euroa. Alumiinimuotit ovat kuitenkin usein heti valmiita käytettäväksi, kun taas muovimuotteihin pitää asentaa työntötangot ja holkit sekä hioa muottia. (Proto Labs 2017.) Stratasyksen tuottama vertailukaavio alumiinin ja digitaalisen ABS:n muottien hintojen ja toimitusaikojen välillä löytyy Stratasyksen sovellusinsinööri (Applications Engineer) Bashorin tuottamasta dokumentista. Linkki dokumenttiin löytyy opinnäytetyön lähdeluettelosta.

Alumiinimuottia voi käyttää kaikilla muoveilla, ja sillä voi valmistaa helposti tuhansia osia. Muovimuotit kestävät valettavasta materiaalista riippuen hyvänä 5...100 kertaa tuotteen muovimateriaalista riippuen. (Proto Labs 2017). Toisaalta elastomeereilla voidaan saavuttaa jopa 500 tulostettua kappaletta. 3D-tulostettujen muottien materiaaleilla ruiskuvalulämpötilan on oltava korkeintaan 300 °C. Rajoittavana tekijänä suurin saavutettava koko on 165cm³. (Bashor.)

Metallisia muotteja ja ruiskuvalua yleensäkin käytetään suurille tuotantomäärille. Alle 1000 kappaleen erää ei usein edes kannata valmistaa. Metallimuotit kestävät jopa 100 000 valukertaa. Hintaa voi tulla koosta ja monimutkaisuudesta riippuen jopa satoja tuhansia euroja. Ennen kalliiden metallimuottien tekoa tehdäänkin aina kustannusvertailu toiseen tuotantotapaan verrattuna. Kustannusvertailussa otetaan huomioon myös tuotteen laatu. (Järvelä ym. 2000, 275 – 277.) Juuri suurten muottikustannusten takia prototyyppien teko on niin tärkeää.

Metallisten muottien jäähdytyskanaviin tarttuu likaa ja ruostetta, mikä muodostaa ah-
taumakohtia ja muuttaa virtauksen halutusta turbulenttisesta huonomman lämmönsiirron omaavaan laminaariseen virtaukseen. Kanavia voidaan puhdistaa mekaanisesti tai kemiallisesti (Järvelä ym. 2000, 140–141). Muoveihinkin kertyy jonkinlaista likaa, mutta tämä on käytännössä testattava. Ruostetta ei ainakaan pitäisi syntyä. 3D-tulostettuihin

muotteihin voidaan käytännössä tulostaa jäähdytyskanavat valmiiksi muovimuotin sisälle. 3D-tulostettuja muotteja voitaisiin kenties myös pinnoittaa paremman keston aikaansaamiseksi. Huonona puolena muovin huono lämmönjohtavuus pidentää jaksoaikaa sen pidemmän jäähdytyksen keston takia (Proto Labs. 2017).

2.2.2 Muovimuottien teknisiä asetuksia

Päästökulman on oltava riittävän suuri hyvän ja naarmuttoman ulostyönnön aikaansaamiseksi, myös kappaleen muodolla on vaikutusta kulmaan. ABS-muoville suositellaan tavallisesti vähintään $0,5^\circ$:n päästökulmaa. (Järvinen 2008, 201, 205.) Muovimuotilla suositellaan 5° :n kulmaa, jotta kappale saadaan helpommin vedettyä muotista ulos ehjänä ja rikkomatta muottia. Valukoneen suuttimen ja PolyJet-muovimuotin väliin tulee laittaa välikappale. Muottiin tulostetut 0,2...0,3 mm alikokoreiät pulteille ja ulostyönnölle avaretaan kokonsa poraamalla muottikokoonpanon aikana. Reikien tulee olla vähintään 2 mm:n etäisyydellä reunoista, jotta reunat pysyvät kyllin paksuina. Muotin olisi hyvä antaa jäähtyä valujen välissä aina $50\text{ }^\circ\text{C}$, asti. Paineilmalla runkoon ja onteloihin puhaltamalla saadaan nopeutettua jäähtymistä. Jos käytetään jäähdytyskanavia, niin niiden tulisi sijaita 8...10 mm ontelon alla. Stratasys suosittelee muottipohjaa MUD eli master unit die teräslevyjen sijaan. Teräslevyjä voidaan käyttää ulostyöntötappien kanssa tai ilman, jolloin kustannus on halvempi, mutta saadaan aikaan yksinkertaisempia osia. Tukimateriaalit pitää luonnollisesti poistaa ennen valua ja myös 180 tai 220 karkeusasteen hiekkapaperilla hiomista suositellaan. Paineiden ja lämpötilojen tulee olla aluksi hyvin matalat ja sitä kautta kokeilla oikeat säätöarvot pikkuhiljaa painetta, pitoaikaa sekä valukoneen ruuvien nopeutta nostamalla. (Bashor.)

2.2.3 Muovimuottien hyödyt

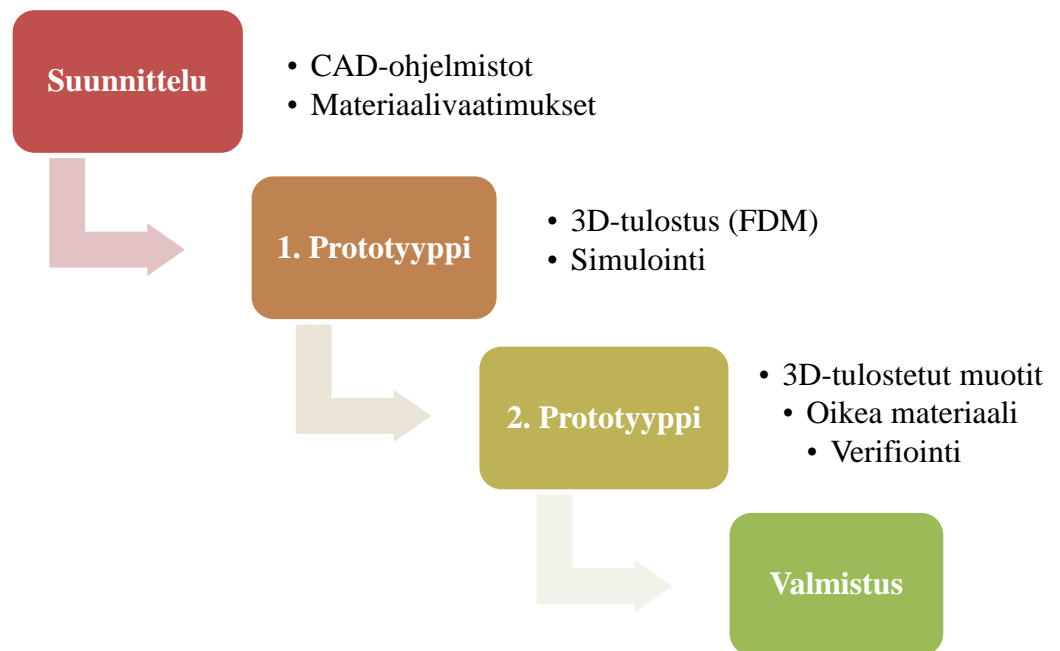
Rapid prototyping tarkoittaa pikavalmistusta, jossa CAD-tekniikan avulla rakennetaan kerroksittain kappale. 3D-tulostus on siis yksi pikavalmistustapa. Pikavalmistusmenetelmistä tällä hetkellä parhaiten muotINVALMISTUKSEEN sopii SLA eli stereolitografiatekniikka, jossa laserilla muutetaan valokovettuva hartsi kiinteään olomuotoon. Edellä ku-

vattu valopolymeraatio mahdollistaa erittäin hyvän yksityiskohtien toistettavuuden. (Järvelä ym. 2000, 269 – 270.) SLA on tekniikka, joka on käytössä myös TAMKin Stratasys Objet 350 Connex3 -tulostimessa.

Rapid tooling tarkoittaa pikavalmistus- tai vastaavalla menetelmällä tehtyjä muotteja. Muotilla voidaan valmistaa pieni sarja prototyyppikappaleita. Muotteja voidaan valmistaa Stratasyn SLA-tulostimien lisäksi sintraamalla. DMLS (Direct Metal Laser Sintering) tekniikalla sintrataan laserin avulla kerros kerrokselta metallipulveria. Laserin säde kääntyy peilien avulla. Aiemmin tekniikkaa ei olla käytetty paljoakaan, sillä DMLS tekniikalla pinnanlaatu on ruiskuvalua varten huono ja vaatii käsittelyä. Myös silikonivalu on mahdollista valmistaa prototyyppikappaletta muottimallina käyttäen. (Järvelä ym. 2000, 272 – 274.) DMLS-sintraustekniikkaa kutsutaan nykyään 3D-tulostetuksi metalliksi. Syynä on sintrauksen huonompi maine. Aiemmin sintraamalla valmistetut kappaleet eivät ole olleet kovinkaan laadukkaita tai kestäviä. (Laaksonen 2016.)

Prototyyppien teko 3D-tulostamalla mahdollisti Stratasyn mukaan heidän asiakkaalleen Whalelle jopa 97 % nopeamman läpimenoajan kuin perinteisillä menetelmillä koneistamalla (Stratasys 2014).

3D-tulostamalla saadaan luotua prototyyppisiä ruiskuvalumuoteista huomattavasti nopeammin ja edullisemmin kuin tavanomaisesti koneistamalla (Liite 2). Prototyyppien avulla huomataan suunnitteluvirheet, voidaan vertailla eri malleja ja saadaan tuote asiakkaalle validoitavaksi nopeasti (Stratasys 2015). Kuviossa 2 on kuvattu 3D-tulostettujen ruiskuvalumuottien hyödynnettävyys myöhemmässä prototyyppivaiheessa.



KUVIO 2. Ruiskuvalumuotin suunnittelukaavio

2.2.4 Muovimuottimateriaalit

Polyjet-muotteihin parhaiten sopiva muovimateriaali on digitaalinen ABS. Siinä yhdistyvät voima ja kovuus sekä lämpötilan sietokyky. Digitaalinen ABS valmistetaan 3D-printerin sisällä Stratasyn omista materiaaleista. Sekoitussuhteet ovat valittavissa, ja mahdollistavat monia eri ominaisuuksia materiaaleille. Näistä parhaiten ruiskuvalumuotteihin soveltuu RGD515 sekä RGD535. Myös FullCure 720- sekä Vero-materiaaleja voi käyttää ruiskuvalumuotteihin, mutta mikäli muoteissa on monimutkaisia muotoja, niin niillä on lyhyempi käyttöikä digitaaliseen ABS:ään verrattuna. Tukimateriaalina käytetään SUP706-materiaalia, joka voidaan poistaa veden avulla koskematta siihen käyttämällä ”WaterJet removal”:ia. Tämä tukimateriaali soveltuu useimpiin PolyJet-materiaaleihin ja toimii kaikilla Objet1000 Plus- ja Connex3-laitteilla. (Sella & Zonder 2014; Stratasys 2017.)

2.2.5 Ruiskuvalumateriaalit ABS-muotille

Itse ruiskuvalumateriaaleissa on käytettävissä valtava määrä eri materiaaleja ja niiden sekoituksia. Parhaiten digitaalisesta ABS:stä tehdyn muotin kanssa sopivat valumateriaaliksi sellaiset materiaalit, joilla on alle 300 °C valamislämpötilat ja hyvät virtausominaisuudet. Parhaiten sopivia materiaaleja ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polystyreeni (PS), akryylnitriilibutadieenistyreeni (ABS), termoplastiset elastomeerit (TPE), polyamidit (PA), polyasetaali (POM), polykarbonaatti-ABS seos (PC-ABS) sekä lasikuitulujuitteinen polypropeeni (PP+G). (Sella & Zonder 2014.)

Näistä PE, PP, PS, ABS sekä TPE mahdollistavat yli sadan kappaleen valamisen muotista, muilla materiaaleilla muotit eivät kestä sataakaan valua (Sella & Zonder 2014). PE ja PP ovat osakiteisiä muoveja, kun taas ABS ja PS ovat amorfisia muoveja. Termoplastiset elastomeerit ovat polymeerimateriaaleja, joissa on yhdistetty sulatyöstettävyys kummimaiseen kimmoisuuteen. (Järvelä ym. 2000, 44.)

Edellisessä kappaleessa luetelluista amorfisista muoveista polystyreeni on lasinkirkas, jäykkä ja kova muovi. Siitä valmistetaan korurasioita, heijastimia sekä ruiskuvalamalla elektronisten laitteiden kuoria. Haittapuolina on hauraus sekä herkkyys useille kemikaaleille ja UV-säteilylle. (Järvinen 2008, 57–59.)

ABS ei ole yhtä kirkasta ja pintakovaa kuin PS, mutta sillä on hyvä työstettävyys ja erinomainen pinnanlaatu. Sen ja pienen kutistumansa takia sitä käytetään paljon elektronikassa ja laitteollisuudesta. Lego-palikat ovat hyvä esimerkki ruiskuvalettavista ABS-tuotteista ja niiden kestävyyydestä. (Järvinen 2008, 67.)

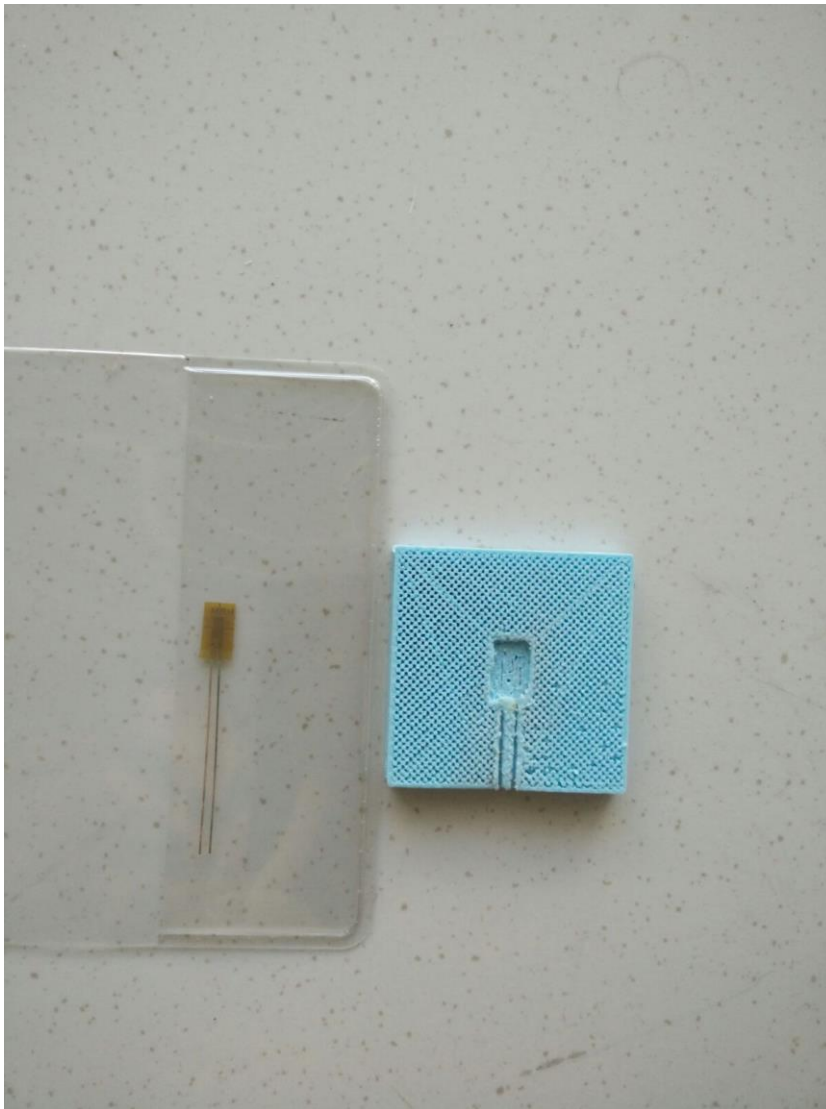
Osakiteisissä ruiskuvalettavissa muoveissa PP kilpailee usein PE-HD:n eli suurtiheyspolyeteenin kanssa. PP on pinnaltaan hieman liukkaampi ja kestää lämpöä hieman paremmin, mutta pakkasta hieman heikommin. PP:n erikoisuuksiin kuuluu sen saranaomaisuus, tyypillinen PP-tuote onkin ketsuppipullon saranoitu korkki. Juomapullojen korkeissa paremman paineenkeston omaava PE-HD on yleisempi. PP on myös ruiskuvalettujen puutarhatuolien materiaali. (Järvinen 2008, 36, 40–43.)

3 TOTEUTUS

Venymäliuskaa varten suunniteltiin 3D-mallintamalla 35x35x7 mm kotelo, jonka sisärakenteeseen liuska uppoaisi hyvin. Kolo asetettiin kappaleen keskelle kaikissa suunnissa, sillä kappaleen taipumat ovat suurimpia siellä. Lisäksi sisälämpötilaa saadaan mitattua parhaiten keskeltä. Suunnittelu tehtiin Autodesk Inventor Professional 2017 -ohjelmalla. DWG-tiedosto vietiin Inventorista stl-tiedostoksi.

Stl-tiedosto avattiin Curassa ja asetettiin 3D-tulostusparametrit, kuten liikenopeudet 35 mm / s. Lopuksi luotiin tiedosto gcode-muotoon, jotta tässä ensimmäisessä testissä käytetty Ultimaker 2 -tulostin pystyy lukemaan tiedoston. Kuvassa 5 näkyvissä venymäliuska vasemmalla puolella ja puoliksi 3D-tulostettu kotelo oikealla puolella.

Kun 3D-tulostus oli puolessa välissä, se pysäytettiin hetkeksi. Kappale irrotettiin työtasolta kuten kuvassa 5 näkyy kappaleen ollessa työpöydällä. 3D-tulostus ehti mennä hie-
man yli puolenvälin, joten kappaletta jouduttiin käsittelemään puukon avulla.



KUVA 5. Venymäliuska ja kotelo

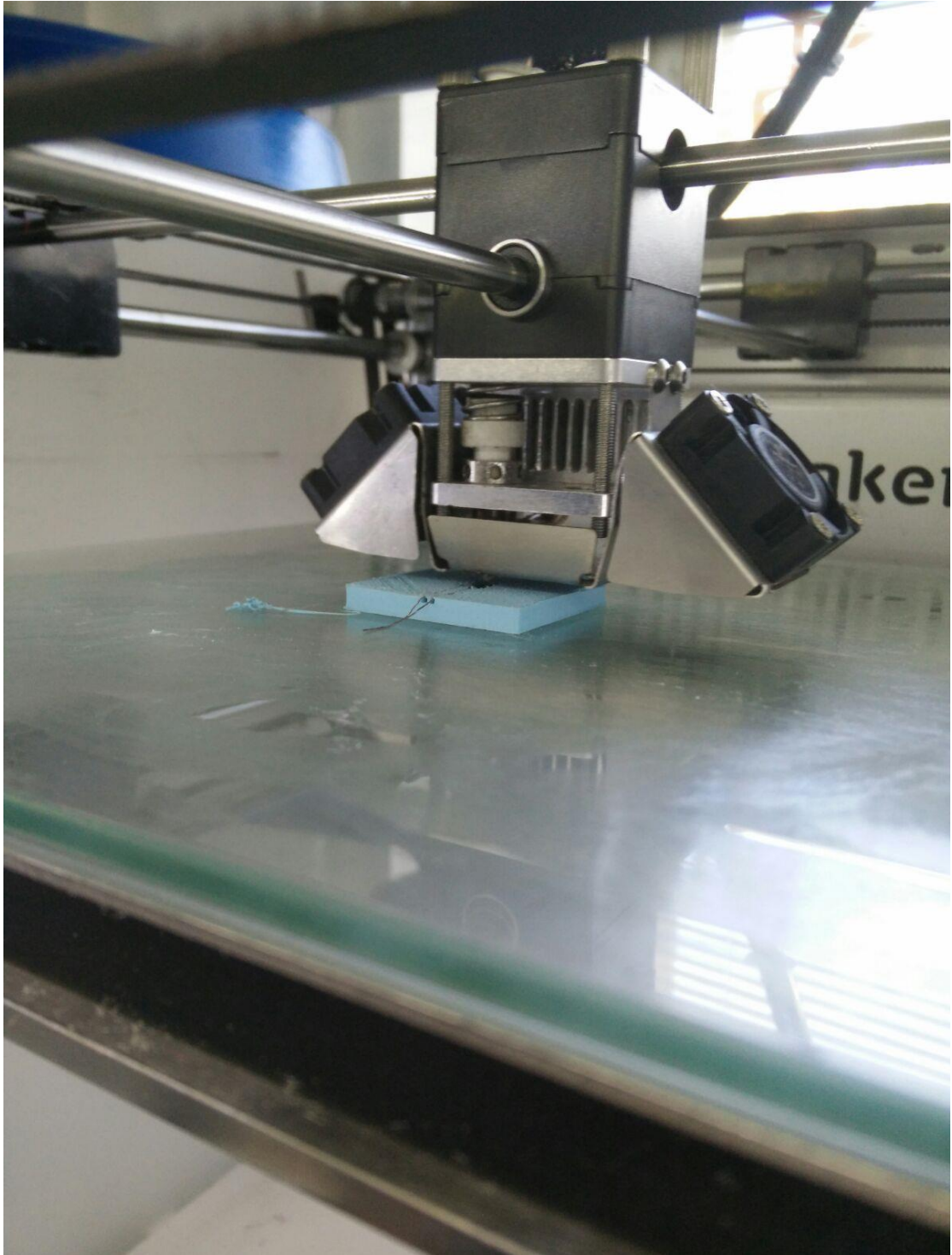
Kuvassa 6 venymäliuska on jo puhdistettu HBM-1 -puhdistusaineella ja liimattu kiinni puhdistettuun kappaleeseen Z 70 -liimalla, joka kovetettiin painamalla peukalolla. Liiman ja peukalon välissä oli tarkoitukseen sopiva lappu. Tulostustason lasi oli käsitelty tavallisella askarteluliimalla paremman tarttuvuuden aikaansaamiseksi. Irrottuaan kappale jätti liimasta vapaan jäljen lasitasolle. Näiden jälkien avulla kappale asetettiin silmämääräisesti uudelleen. Askarteluliimaa myös lisättiin kappaleen alle uudelleen tarttuvuuden varmistamiseksi.



KUVA 6. Kappale aseteltuna uudelleen

Tulostuksen jatkaminen aiheutti hieman ongelmia, sillä suuttimesta ei ollut tullut muovia heti tulostusta jatkettaessa. Tähän vaikutti todennäköisesti suuttimen pienen tukkeuman lisäksi suuttimen ja kappaleen välinen kasvanut etäisyys korkeussuunnassa. Mahdollinen tukkeuma poistettiin lisäämällä suuttimen lämpötilaa maksimiin, eli 260°C:hen juoksevuuden parantamiseksi ja pakottamalla tulostuslankaa läpi manuaalisesti.

Korkeussuuntaista heittoa korjattiin lisäämällä ylimääräinen liimakerros kappaleen pinnalle. Tämän jälkeen tulostusta voitiin jatkaa kuten kuvassa 7 näkyy.



KUVA 7. Tulostus jatkuu

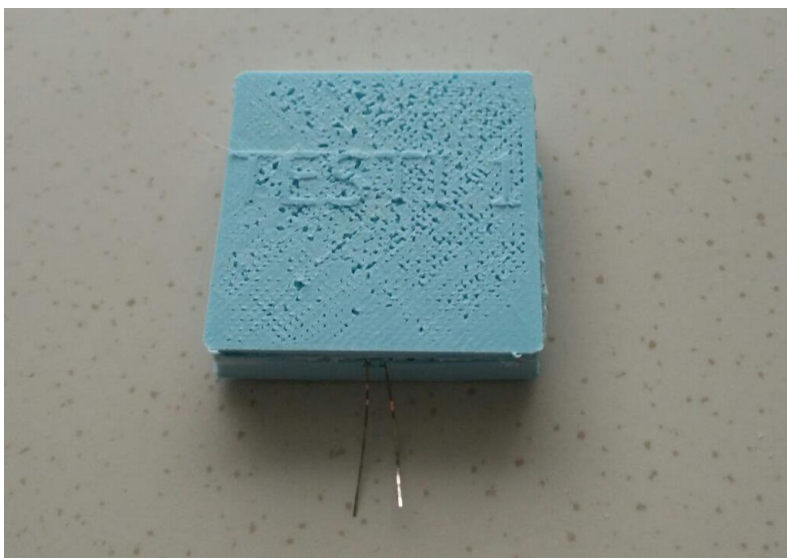
Tulostuksesta tuli näkyvästi epätasainen sivuttaissuunnassa, sillä kappaleen takaisinasettelu venymäliuskan liimaamisen jälkeen oli vain silmämääräisen tarkistuksen

varassa. Venymäliuskan johtimet tulivat kuitenkin hienosti läpi sivusta suunnitellusti. Venymäliuskan johtimet näkyvät kuvassa 8 kappaleen vasemmalla puolella.



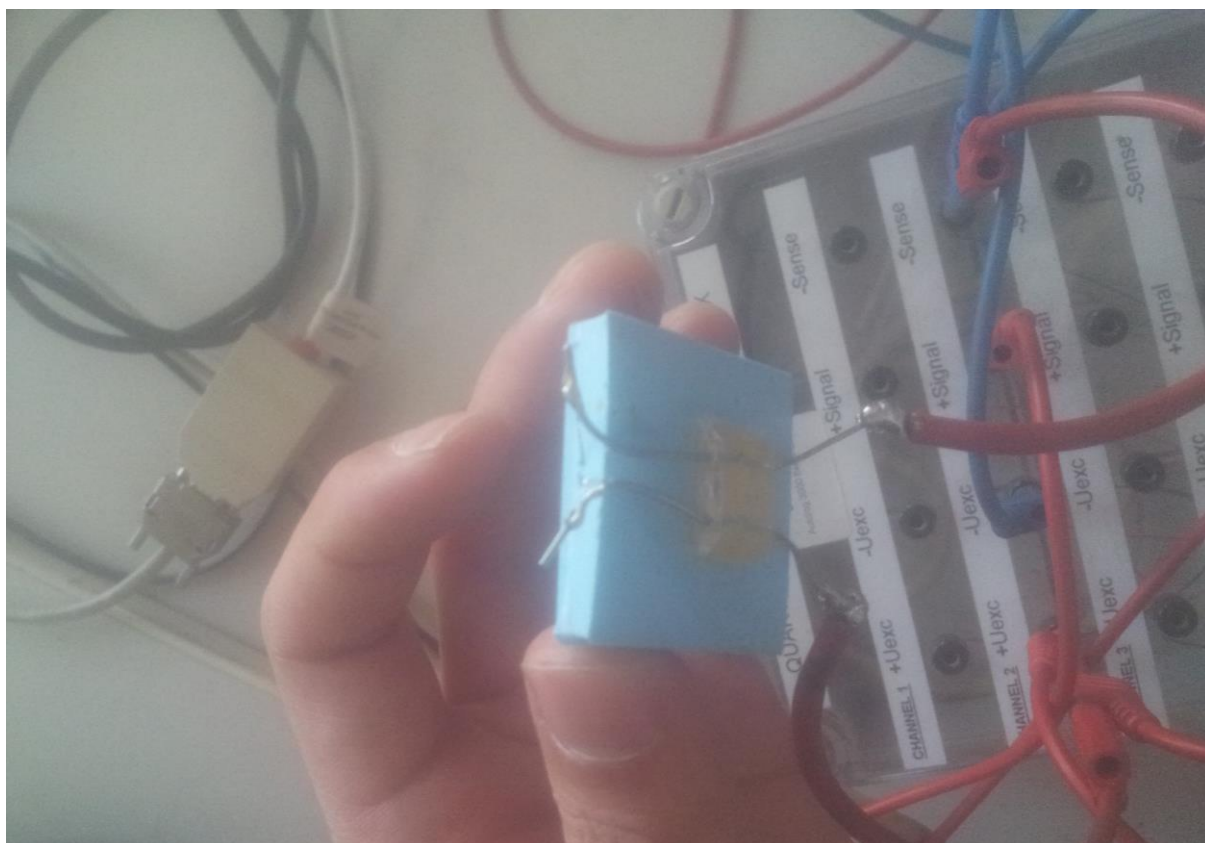
KUVA 8. Kappaleen sivu

Kuvassa 9 näkyvä kappaleen kohokirjailu, ”TESTI 1”, tuli hyvin näkyviin pinnalle, mikä osoittaa tulostusparametrien olleen sopivat kappaleen tulostamiselle.



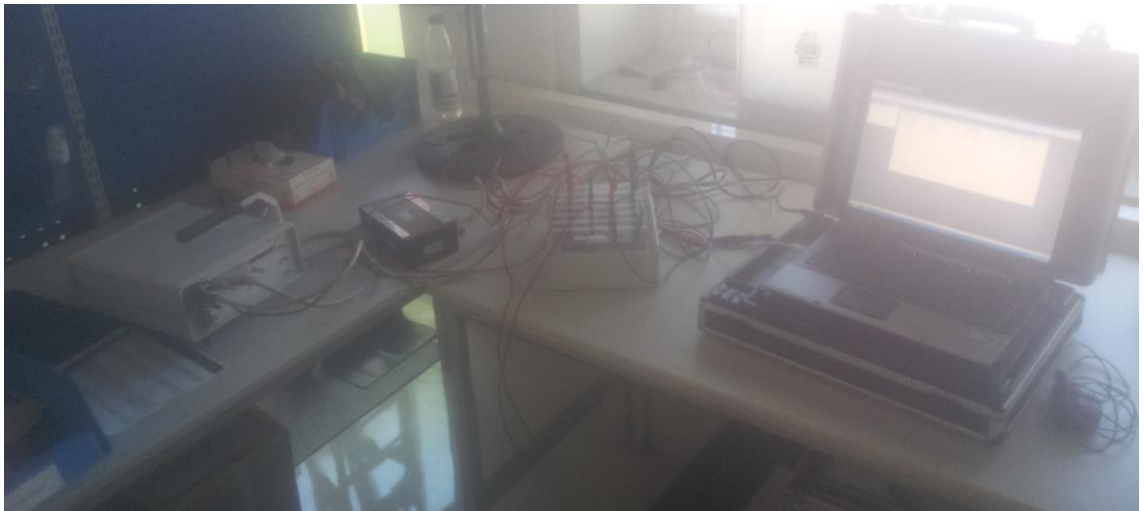
KUVA 9. Testikappale 1

Testikappaleeseen kiinnitettiin liimaamalla päälle keltainen liitoskappale, joka näkyy kuvassa 10. Liitoskappaleesta lähti johtimet molempiin päihin. Kuvassa vasemmanpuoleiset johtimet kiinnitettiin sisällä olevan venymäliuskan kahteen johtimeen. Oikealla puolella olevat liitoskappaleen johtimet juotettiin katkaistuun ja katkaistuista päistään kuorittuun banaaniliittimeen, joka näkyy myös kuvassa 9. Juotoslämpötilana käytettiin 280 °C.



KUVA 10. Testikappaleen johtimet

KytKentä näytti kokonaisuudessaan kuvan 11 mukaiselta. Vasemmalta lukien käytössä oli Autolog 3000 -vahvistin, jakorasia, neljännessiltakytkentälaatikko sekä mittaus tietokone.



KUVA 11. Yleiskuva mittauksesta

Venymäliuskoja mitattiin Autolog 3000 -vahvistimen avulla. Vahvistin näkyy kuvassa 12. Oikeanpuoleinen johto menee jakorasiolle ja vasemmanpuoleisesta tulee virta ja menee yhteys mittautietokoneeseen.



KUVA 12. Autolog 3000

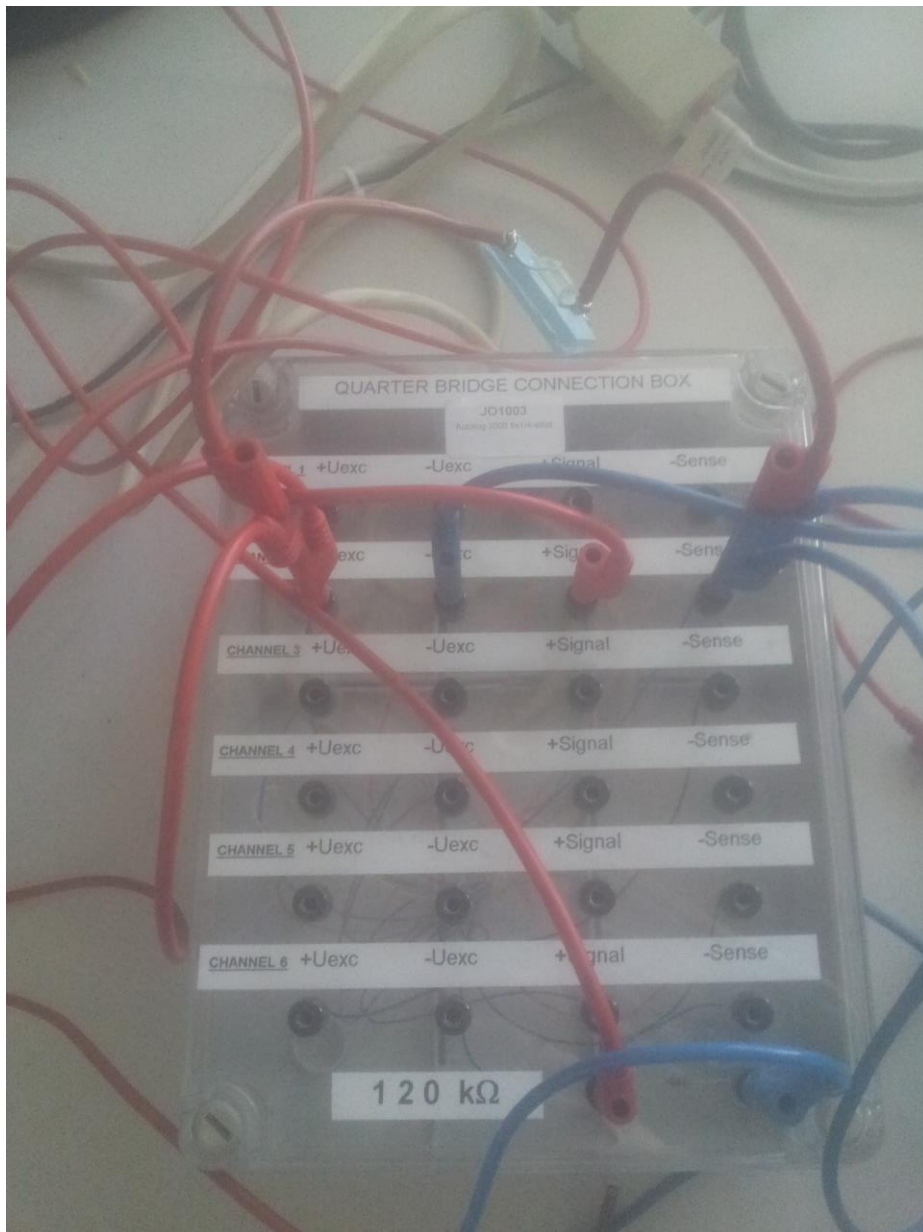
Autolog 3000 -vahvistimeen kiinnitettiin jakorasia, koska kytkentälaatikossa on vähemmän pinnejä kuin vahvistimessa. Connector 1 tulee tietokoneelta ja group 1 menee neljännessillalle. Jakorasia näkyy kuvassa 13.



KUVA 13. Jakorasia

Vahvistimeen oli kytketty jakorasian kautta neljännessiltakytkentä. Kuvassa 14 näkyy neljännessiltakytkentälaatikko. Kytkentälaatikko on mallia 6x4, eli 6 kanavaa, joissa on 4 kytkentäreikää kussakin. Reiät ovat erikseen positiiviselle ja negatiiviselle käyttöjännitteelle sekä positiiviselle ja negatiiviselle senselle. Sense tarkoittaa signaalia, joka menee takaisin mittauslaitteelle. Alla on 120 k Ω vastus, jolla testataan piirin toimivuutta.

Kytkennot tehtiin yhdistämällä positiivinen käyttöjännite positiiviseen signaaliin ja negatiivinen käyttöjännite negatiiviseen signaaliin. Tämän jälkeen yhdistettiin positiivinen puoli venymäliuskan toiseen johtimeen ja negatiivinen puoli eri johtimeen. Venymäliuska toimii vastuksena piirissä, joten venymäliuskan kytkentäpuolella ei ole merkitystä. Mittauksissa käytettiin kanavaa 2. Alin 120 k Ω ei ollut kytkettynä aktiivisten mittausten aikana, mutta sen avulla kokeiltiin alussa mittausjärjestelmän toimivuus. Kytkettäessä kyseiset johdot piiriin tulisi mittaustulosten muuttua ennalta tiedossa olevan määrän verran. Tässä tapauksessa ennalta tiedossa ollut määrä oli 500 $\mu\text{m/m}$.



KUVA 14. Kytentälaatikko

Myöhemmin testikappaleeseen lisättiin eristeeksi ja johtimien pitimiksi HBM:n Protective Coating SG 250 -silikonimassaa, käytetyn massan paketti näkyy kuvassa 15. Massa on läpinäkyvää yksikomponenttista silikonikumia ilman liuottimia. Sen lämpötilankestävyys on $-70... +250\text{ }^{\circ}\text{C}$ eikä se aiheuta hapettumista johtimissa kuivuessaan. (HBM. b.)




KUVA 15. Suojamateriaali

4 TULOKSET

Vahvistimen sisällä olevan neljännessiltakytkennän avulla saatiin vahvistettua testikapaleessa olevaa venymää. Venymä pysyi melko hyvin kalibroidussa nollakohdassaan. Heittoa oli n. $5 \mu\text{m/m}$ eli 5μ . Painettaessa testikappaletta sormella alaspäin venymä oli suurimmillaan n. -120μ . Kuvassa 16 näkyy venymän olevan käytetyllä toiseksi ylimmällä kanavalla noin -64μ . Tästä voidaan päätellä, että kappaleeseen itse asiassa kohdistui puristusta.

Testattaessa kytkentälaatikossa olevalla $120 \text{ k}\Omega$ vastuksella, oli tulos oikeanlainen. Mittaustulos muuttui noin $500 \mu\text{m/m}$, joten kytkentä toimi. Kun vastus kytkettiin pois piiristä irrottamalla siihen menevät johdot, tulos muuttui takaisin alkuperäiseksi.



	Channel Type	Device	Slot #	Channel #	Frequency [Hz]	Current Value	Balance Value	T
1.1	-	Aut 1 (Mux S/C)	1	1.1	+0.00	+0.0000	+0.0000	
1.2	S/G 1/4 br 120	Aut 1 (Mux S/C)	1	1.2	+10.00	-64.073 $\mu\text{m/m}$	-1954.2 $\mu\text{m/m}$	+0.00
1.3	-	Aut 1 (Mux S/C)	1	1.3	+0.00	+0.0000	+0.0000	
1.4	-	Aut 1 (Mux S/C)	1	1.4	+0.00	+0.0000	+0.0000	
1.5	-	Aut 1 (Mux S/C)	1	1.5	+0.00	+0.0000	+0.0000	
1.6	-	Aut 1 (Mux S/C)	1	1.6	+0.00	+0.0000	+0.0000	

KUVA 16. Mittaustuloksia

Tulokseksi tuli kaiken kaikkiaan siis se, että venymäliuskoja voidaan käyttää myös 3D-tulostettujen kappaleiden sisällä. Ne saadaan myös johdotettua hyvin mittauskelpoisiksi kappaleiksi.

5 POHDINTA

3D-tulostamisen käyttö on yleistynyt hurjasti, ja käyttökohteita haetaan mitä moninaisimmin tavoin. Työtä tehdessä kävi kuitenkin ilmi, että esimerkiksi 3D-tulostettuja metallimuotteja on kokeiltu jo viime vuosituhanella, joten asia ei ole niin uusi kuin voisi nykyisen 3D-tulostushypen perusteella kuvitella. Joihinkin käyttötarkoituksiin 3D-tulostetut muotit tuovat selvää lisäarvoa, kun taas useimpiin sopii tavanomaisemmat muotit. Mikäli aikeissa on käyttää 3D-tulostettuja muotteja, niin pitää ottaa huomioon tämän tekniikan useat rajoitukset.

Inserttien sijoittaminen muotin sisälle on mahdollista ja helppoa 3D-tulostamalla. Tavallisesti inserttien sijoittamiseen muottiin käytetään esimerkiksi reikien tekoa. Kaiken kaikkiaan 3D-tulostetut muotit ovat hyvä lisä ruiskuvalutyökaluvalikoimaan, mutta kuitenkin vain yhtenä työkaluna pakissa. Rapid tooling ja rapid prototyping ovat parhaiten 3D-tulostukselle sopivia käyttökohteita.

Tässä työssä ei valitettavasti päästy kokeilemaan ruiskuvalua käytännössä, mikä olisi ollut hyvin mielenkiintoista. Kyselyt yhteistyöstä paikallisten ruiskuvaluyritysten kanssa eivät ikävä kyllä tuottaneet tulosta. 3D-metallitulostimella olisi myös ollut mielenkiintoista kokeilla muotinvalmistusta. Tässä työssä tosin keskityttiin lähinnä SLA-tekniikkaan, mutta tulevaisuuden tutkimuskohteena 3D-metallitulostetut muotit voisi olla mahdollinen.

LÄHTEET

Bashor, M. 3D printed injection molds. Can your business benefit? Stratasy. Luettu 3.4.2017

<http://www.moldmakingtechnology.com/cdn/cms/1%20stratasy.pdf>

CHEP 3D Printing. 2014. Metal Inserts on a 3D Print. Youtube-video.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZJmkAngpRQg>

Creative Tools. 2011. ZPrinter-made plastic injection mold 52.

https://www.flickr.com/photos/creative_tools/5726643628 Lisenssi Creative Commons 2.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

Gaylord, D. MatterHackers. 2015. Fasteners for 3D printing – using heat-set threaded inserts.

<https://www.matterhackers.com/articles/fasteners-for-3d-printing>

HBM. a. Z70. Luettu 25.4.17

<https://www.hbm.com/en/2962/strain-gauge-adhesives-z70/>

HBM. b. SG250. Luettu 17.5.17

<https://www.hbm.com/en/3082/strain-gauge-protective-coatings-sg250/>

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. 3. painos. Tampere: TTKK-PAINO.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Laaksonen, H. 2016. Pikamallinnuksen perusteet. Luento. TAMK.

Metropolia. Venymäliuskat. Wiki-sivusto. Päivitetty 30.11.2010.

<https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=23203724>

Proto Labs. 2017. 3D-Printed Molds vs. Aluminum Tooling.

<https://www.protolabs.com/resources/blog/3d-printed-molds-vs-aluminum-tooling/>

Sella N. & Zonder L. 2014. Precision prototyping. The role of 3D printed molds in the injection molding industry. Stratasy.

Stratasy. 2014. Whale Cuts Lead Time by 97% with 3D Printed Injection Molds. Youtube-video.

<https://www.youtube.com/watch?v=TOKj6CsZ92M>

Stratasy. 2015. Milacron Shifts Gears to 3D Printed Injection Molds for Rapid Part Prototyping. Youtube-video.

<https://www.youtube.com/watch?v=PLRD57KvbPY>

Stratasy. 2017. Digital ABS. Luettu 12.4.2017

<http://www.stratasy.com/materials/polyjet/digital-abs>

Wikimedia Commons 2000. www.timesert.com

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TIME-SERT_thread_insert.gif

Wikimedia Commons. 2011. Mold cavity.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mold_cavity.jpg

Wikimedia Commons 2012. Strain gauge.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Strain_gauge.svg